

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

FELIPE RODRIGUES

**RECONSTRUÇÃO DA TEMPERATURA SUPERFICIAL DO MAR DA MARGEM
SUDESTE BRASILEIRA DURANTE O HOLOCENO TARDIO**

PONTAL DO PARANÁ

2016

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
SETOR DE CIÊNCIAS DA TERRA
CENTRO DE ESTUDOS DO MAR
CURSO DE GRADUAÇÃO EM OCEANOGRAFIA

FELIPE RODRIGUES

**RECONSTRUÇÃO DA TEMPERATURA SUPERFICIAL DO MAR DA MARGEM
SUDESTE BRASILEIRA DURANTE O HOLOCENO TARDIO**

Monografia apresentada como requisito parcial à obtenção do grau de Bacharel em Oceanografia, Setor de Ciências da Terra, Centro de Estudos do Mar, Universidade Federal do Paraná.

Orientadora: Dra. Renata Hanae Nagai

PONTAL DO PARANÁ


2016

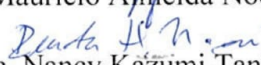
TERMO DE APROVAÇÃO


Felipe Rodrigues

“Reconstrução da temperatura superficial do mar da margem sudeste brasileira durante o Holoceno Tardio.”

Monografia aprovada como requisito parcial para a obtenção do grau de Bacharel em Oceanografia, da Universidade Federal do Paraná, pela Comissão formada pelos professores:


Prof. Dr. Mauricio Almeida Noernberg - CEM/UFPR


MSc. Nancy Kazumi Taniguchi - IOUSP


Prof.ª Dr.ª Renata Hanae Nagai
Presidente

Pontal do Paraná, 9 de dezembro de 2016

AGRADECIMENTOS

Agradeço à minha orientadora, Profa. Dra. Renata Nagai, pela oportunidade de desenvolvimento deste projeto e por todo o incentivo, apoio e confiança durante esse trabalho. Muito obrigado por todo o ensinamento!

À Prof. Dra. Camila Domit, por ter me acompanhado por um bom tempo durante a graduação. Obrigado pelos ensinamentos e carinho.

Sou imensamente grato à PRAE, por toda a assistência estudantil através dos programas de auxílio financeiro durante todos os meus anos de graduação.

À CAPES, pela concessão da bolsa de intercâmbio pelo programa “Ciência sem Fronteiras”. Foram 18 meses de muito aprendizado e crescimento acadêmico e pessoal. Agradeço também ao CNPq, pela assistência através do programa de iniciação científica.

À FAPESP, pelo auxílio financeiro para a realização deste projeto (Processo 2013/24249-8).

Ao GRR2011. Obrigado por todas as festas, encontros, e conversas durante esses cinco anos.

Obrigado Tai, Fá, Anne, Ana e Dóris. Obrigado pelo companheirismo, risadas, festas, dancinhas...por tudo! Amo vocês, suas lindas!

Agradeço aos amigos que eu fiz durante o intercâmbio, em especial à Gaby, Camila e Rafa. Muito obrigado por todas as conversas, jantinhas e passeios aleatórios por New York. Foram 18 meses vivendo em uma cidade maravilhosa, com pessoas incríveis! Saudades de vocês.

Obrigado *LECoffe*: Rô, Gabizinha, Bia, Sté, Val, Gi, Giba, Lu, Glê, Val, Nena, Nane e Ly. Obrigado por todos os momentos juntos, inclusive aqueles mais fedidos durante as macerações.

Obrigado Ange e Pri pela paciência e incentivo durante esse ano. Obrigado, também, Amanda pelas dicas, apoio, e pelas trocas de receitas vegetarianas deliciosas.

Agradeço também à minha família: Ju, Ariane, Madrinha, Jana. Obrigado por todo o apoio durante esses anos.

E muito, muito obrigado, Mãe! Todo o meu trabalho e esforço eu dedico a você. Te amo!

“aqui

nessa pedra

alguém sentou
olhando o mar

o mar não parou
pra ser olhado

foi mar
pra tudo quanto é lado”

Paulo Leminski

RESUMO

Os oceanos desempenham um papel fundamental na evolução do clima da Terra, sendo a distribuição da Temperatura Superficial do Mar (TSM) uma das melhores variáveis para reconstruir as condições do sistema climático global. A margem SE Brasileira está sob influência da Corrente do Brasil (CB), uma corrente de contorno oeste superficial que transporta águas quentes e salinas, favorecendo a ocorrência da espécie de foraminífero planctônico *Globigerinoides ruber* (pink) por toda a sua extensão. O objetivo deste trabalho é reconstruir a TSM da margem SE Brasileira no Holoceno Tardio, utilizando a razão Mg/Ca obtida em testas de *G. ruber* (pink). O material utilizado neste trabalho provém de 5 testemunhos recuperados com o auxílio de um *multiple-corer* no Embaíamento de São Paulo, entre as latitudes de 23°S e 25°S. A cronologia dos testemunhos foi realizada por meio de datações radiométricas por AMS ^{14}C . Os dados geoquímicos foram obtidos com auxílio de um espectrômetro de massa com plasma acoplado indutivamente (ICP-MS) em aproximadamente 40 testas de *G. ruber* (pink) (fração 250-300 μm). E estimativas de TSM foram obtidas a partir da razão Mg/Ca, aplicando a equação de paleotemperatura para a espécie *G. ruber*. Com o intuito de gerar uma reconstrução regional, foi confeccionado um *stack record* com as médias de TSM de todos os testemunhos. A tendência geral dos últimos 5 mil anos foi de diminuição da TSM. Duas tendências dentro dos 5 mil anos foram observadas: de 5 a 2 ka cal AP, com tendência de diminuição da TSM; e de 2 ka cal AP ao Presente, com tendência de aumento da TSM. As tendências de diminuição (aumento) de TSM foram relacionadas com o aumento (diminuição) da ressurgência de águas mais profundas da Água Central do Atlântico Sul (ACAS) como resultado do aumento (diminuição) da intensidade da CB. Além disso, foi possível observar comportamento anti-fásico entre a CB e circulação meridional do Atlântico (AMOC). Este estudo contribui para uma melhor compreensão da paleoceanografia e da paleoclimatologia do Atlântico Sul.

Palavras-chave: razão Mg/Ca; paleotemperatura; Atlântico Sudoeste; Corrente do Brasil; AMOC.

ABSTRACT

Due to gas and heat exchange between the sea surface and the atmosphere, the oceans take a meaningful part on Earth's climate system, which makes past sea surface temperature (SST) reconstructions an essential step to assess future climate changes. Differently from the North Atlantic Ocean, the South Atlantic still lacks paleoceanographic data, even though this basin plays a major role in interoceanic exchange. The SE Brazilian margin is under the influence of the Brazil Current (BC), a superficial current that transports warm and saline waters, providing optimum environmental conditions to the planktonic foraminifera *Globigerinoides ruber* (pink). Here we analyze SSTs variations in the SE Brazilian margin spanning the past 5 kyr cal BP using Mg/Ca ratios from *G. ruber* (pink) as a proxy. To achieve our goal, five multiple-cores were retrieved between the latitudes of 23°S and 25°S. The age models were obtained by radiocarbon dating. The geochemical data were obtained in approximately 40 *G. ruber* (pink) tests (fraction 250-300 mm) analyzed with an induced plasma mass spectrometer (ICP-MS). After obtaining the Mg/Ca ratio, we applied the paleotemperature equation for the *G. ruber* species to access the SST estimates. Moreover, a regional SST reconstruction was obtained through a stack record. Our results show a general SST decreasing trend in the last 5 thousand years. Furthermore, we found two trends within the Late Holocene: from 5 to 2 ka cal AP, we observed a cooling trend in the SST; and from 2 ka cal AP to the Present, we observed a warming trend in SST. For the SE Brazilian margin cooling (warming) SST are related to the increase (decrease) in South Atlantic Central Water (SACW) upwelling driven by a strengthening (weakening) of the BC. Also, it was possible to observe an anti-phase relationship between the BC and the Atlantic Meridional Overturning Circulation (AMOC). This study provides data that contributes to the improvement of our understanding of the South Atlantic paleoceanography and paleoclimatology.

Keywords: Mg/Ca proxy based; paleotemperature; Southern Atlantic; Brazil Current; AMOC.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 localização da área de estudo e dos testemunhos utilizados neste estudo. ...	19
Figura 2 Dados da razão Mg/Ca (mmol/mol) em testas de foraminífero planctônico <i>G. ruber</i> (pink) e estimativas de temperatura da superfície do mar (TSM - °C) em amostras sedimentares do Holoceno Tardio obtidas nos testemunhos (a) NAP 68-2, (b) NAP 66-2, (c) NAP 64-2, (d) NAP 63-2 e (e) NAP 62-2.....	24
Figura 3 Estimativa das variações da temperatura superficial do mar (TSM - °C) a partir da razão Mg/Ca obtida em testas de foraminíferos planctônicos da espécie <i>G. ruber</i> (pink). Os cinco testemunhos foram coletados entre 24 a 26 °S; 44 a 46°W. As temperaturas foram estimadas após a aplicação da equação de paleotemperatura proposta por Anand <i>et al.</i> (2003).....	27
Figura 4 Variações na temperatura da superfície do mar (TSM - °C) na margem se brasileira no Holoceno Tardio. Círculos cheios representam o “ <i>stack record</i> ” de TSM com base em razão Mg/Ca em <i>G. ruber</i> (pink) obtido a partir da média dos dados interpolados (com espaçamento regular de 200 anos McGregor <i>et al.</i> (2015) de TSM dos testemunhos NAP 62-2, NAP 63-2, NAP 66-2 e NAP 68-2, e os triângulos vazados representam os dados de TSM interpolados. Os quadrados amarelo, verde e vermelho representam a TSM média moderna anual (23.5°C), de inverno (21.3°C) e de verão (25.9°C), respectivamente, retirados da base de dados World Ocean Database, 2013 (LOCARNINI <i>et al.</i> , 2013).	28
Figura 5 Mapa de localização dos testemunhos deste estudo (círculos azuis - NAP 62-2, 63-2, 64-2, 66-2 e 68-2, Tabela 1). O círculo preto representa o local onde Chiessi <i>et al.</i> (2014) recuperaram o testemunho GeoB6211-1/2 (32.51°S - 50.24°W, 657 m de profundidade). O círculo amarelo representa a localização onde Pivel <i>et al.</i> (2013) recuperaram o testemunho LaPAS-KF02 (25.84°S – 45.2°W, 827 m de profundidade). O círculo verde representa a localização onde Taniguchi (2015) recuperou o testemunho GeoB16204-2 (1°59S - 42°20W, 1211 m de profundidade), e o círculo vermelho representa a localização onde Haug <i>et al.</i> (2001) recuperaram o testemunho PL07-56 PC (10°42N - 65°10W, 893 m de profundidade).	30
Figura 6 O gráfico 5A representa a posição da Zona De Convergência Inter Tropical (ZCIT) obtida por Haug <i>et al.</i> (2001), onde foi utilizada a concentração de titânio (%) como	

proxy de precipitação na bacia de Cariaco, na Venezuela (10°42N - 65°10W, 893 m de profundidade), no qual os maiores valores representam maior precipitação (deslocamento para o norte), e os menores valores representam menor precipitação (deslocamento sul). O gráfico 5B representa a intensidade da Corrente Norte do Brasil (CNB) realizada por Taniguchi (2015), obtida em um testemunho coletado na desembocadura do rio Parnaíba (1°59S - 42°20W, 1211 m de profundidade) por meio da análise de *sortable silt* (ϕ), onde os maiores (menores) valores representam CNB enfraquecida (fortalecida). O gráfico 5C representa a variação de TSM encontrada neste trabalho, e os gráficos 5D e 5E representam os dados de paleotemperatura obtidos por Chiessi *et al.* (2014) e por Pivel *et al.* (2013), respectivamente..... 32

Figura 7 Representação gráfica das razões elementares Mg/Ca *versus* Fe/Ca (a) e Mn/Ca (b) para testar a eficiência dos procedimentos de limpeza, demonstrando que não há correlação significativa entre estas razões. 41

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 Localização (Latitude - °S e Longitude - °W) e profundidade da lâmina d'água (m) das estações oceanográficas onde foram coletados os testemunhos, e recuperação da coluna sedimentar (cm). Dados referentes aos testemunhos recuperados para este estudo.....	21
--	----

LISTA DE ABREVIATURAS

ACAS – Água Central do Atlântico Sul
AIA – Água Intermediária Antártica
AMOC – Atlantic Meridional Overturning Circulation
AP – Antes do Presente
APAN – Água Profunda do Atlântico Norte
AS – Atlântico Sul
AT – Água Tropical
cal – Calibrado
CAS – Corrente do Atlântico Sul
CB – Corrente do Brasil
CBE – Corrente de Benguela
CM – Corrente das Malvinas
CNB – Corrente Norte do Brasil
CSE – Corrente Sul Equatorial
ESP – Embaiamento de São Paulo
ka – Quilo ano (1000 anos)
MUC – *Multiple-corer*
NAO – *North Atlantic Oscillation*
SE – Sudoeste
SMAS - Sistema de Monção da América do Sul
TSM – Temperatura Superficial do Mar
ZCAS - Zona de Convergência do Atlântico Sul
ZCIT – Zona de Convergência Inter Tropical

SUMÁRIO

RESUMO.....	6
1 INTRODUÇÃO	13
1.1 JUSTIFICATIVA.....	15
1.2 HIPÓTESE	15
1.3 OBJETIVOS	16
1.3.1 OBJETIVO GERAL	16
1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	16
2 REFERENCIAL TEÓRICO	16
3 ÁREA DE ESTUDO.....	18
4 MATERIAIS E MÉTODOS.....	20
5 RESULTADOS	22
6 DISCUSSÃO	25
7 CONCLUSÕES	33
8 REFERÊNCIAS	34
9 ANEXOS	39

1 INTRODUÇÃO

Os oceanos desempenham um papel fundamental na evolução do clima da Terra, sendo a distribuição da Temperatura Superficial do Mar (TSM) um dos melhores parâmetros para reconstruir as condições do sistema climático global (ROSENTHAL, 2007), uma vez que as águas superficiais estão em contato direto com a atmosfera. A reconstrução das condições climáticas e ambientais do passado da Terra, assim como tentar entender como os oceanos participam destas dinâmicas globais, fazem parte dos objetivos de estudos da Paleoceanografia e da Paleoclimatologia (WEFER *et al.*, 1999). Os estudos paleoceanográficos e paleoclimáticos são essenciais para compreender a variabilidade e forçantes envolvidas nas oscilações do clima da Terra. Assim, avaliar estes registros é fundamental para compreender as variações naturais do clima e para tentar prever futuras mudanças globais relacionadas ao clima terrestre (BRADLEY, 2000).

Os sedimentos marinhos registram através de sua composição física e química condições hidrográficas dos oceanos e sua resposta a oscilações climáticas da Terra. Estes processos podem ser estudados através de *proxies*¹, como assembleias de microfósseis, conteúdo de matéria orgânica, e composição elementar e isotópica em carapaças de organismos marinhos presentes nos sedimentos (WEFER *et al.*, 1999). O desenvolvimento tecnológico e de modelos estatísticos nas últimas décadas, juntamente com o aumento do número de registros *proxies* de alta resolução e do aumento dos estudos com maiores abrangências espaciais, melhoraram nosso entendimento sobre os resultados obtidos em estudos paleoceanográficos (PIVEL *et al.*, 2013).

A razão Mg/Ca obtida em testas de foraminíferos planctônicos é um dos *proxies* mais recentes e amplamente utilizados nos estudos paleoceanográficos que visam a reconstrução da temperatura dos oceanos (GROENEVELD & CHIESSI, 2011). Os foraminíferos planctônicos são organismos unicelulares que possuem uma carapaça constituída por carbonato de cálcio (CaCO_3) e habitam a coluna d'água, sendo seu

¹ Segundo Wefer *et al.* (1999), nos estudos paleoceanográficos entende-se como *proxies* as variáveis que são diretamente mensuráveis e são utilizadas a fim de obter medidas (ou variáveis) não observáveis e que não podem ser mensuradas diretamente, como a temperatura, salinidade, nutrientes, oxigênio, concentração de dióxido de carbono, velocidade do vento, e produtividade.

desenvolvimento altamente dependente da temperatura do ambiente no qual eles habitam (KUCERA, 2007). Por apresentarem alta sensibilidade aos parâmetros ambientais, e por seus fósseis ficarem bem preservados nos sedimentos marinhos, os foraminíferos são utilizados para analisar os registros ambientais do planeta, sendo amplamente empregados nos estudos paleoceanográficos (ROSENTHAL, 2007).

Durante o processo de calcificação, o Magnésio (Mg^{+2}) é incorporado na calcita destes organismos e, uma vez que estes organismos morrem, suas testas decantam para o assoalho oceânico, compondo os sedimentos marinhos. Além da distribuição e abundância dos foraminíferos ser primariamente dependente da temperatura, o processo da incorporação diferenciada entre o Ca^{+2} e Mg^{+2} também é influenciado pela temperatura do ambiente no qual o organismo habita (reação endotérmica) (BARKER *et al.*, 2005), de forma que a razão Mg/Ca aumente exponencialmente com o aumento da temperatura da água (BARKER *et al.*, 2005; KUCERA, 2007).

Atualmente há, aproximadamente, 50 espécies de foraminíferos planctônicos (KUCERA, 2007). Entretanto, apenas 20 espécies podem ser consideradas como bons *proxies* de paleotemperatura devido a abundância destas espécies nos sedimentos do fundo oceânico (KUCERA, 2007). Uma das espécies utilizadas para a reconstrução da TSM é a espécie *Globigerinoides ruber* (ANAND *et al.*, 2003). Esta espécie possui duas variações de cores, e ambas habitam as camadas mais superficiais dos oceanos: a *G. ruber* (pink), possui cor avermelhada e habita apenas o oceano Atlântico e o Mar Mediterrâneo, preferindo regiões mais quentes, entre 24°C a 26°C; e a *G. ruber* (white), cosmopolita com desenvolvimento ótimo em águas com temperaturas menores que 24°C (HEMLEBEN, 1989). A presença de ambos morfotipos no ambiente é primariamente afetada pela altura da camada de mistura, sendo o pico do morfotipo *G. ruber* (pink) em camadas mais superficiais, enquanto o morfotipo *G. ruber* (white) é mais abundante nas camadas mais profundas (SOUSA *et al.*, 2014).

A margem SE Brasileira está sob influência de uma corrente superficial que transporta águas quentes e salinas (STRAMMA; ENGLAND, 1999), favorecendo a ocorrência da espécie planctônica *G. ruber* (pink) por toda a sua extensão. Apesar dos sistemas de correntes superficiais do Oceano Atlântico Sul (AS) desempenharem um papel significativo no sistema de circulação oceânica global (PETERSON; STRAMMA,

1991), o entendimento da evolução paleoceanográfica desta bacia ainda é incipiente (p.e. VILLALBA *et al.*, 2009; SANTOS *et al.*, 2013; CHIESSI *et al.*, 2014). Dessa forma, com o intuito de auxiliar na melhor compreensão paleoceanográfica do Atlântico Sul, este trabalho tem como objetivo principal analisar variações na TSM da margem SE Brasileira nos últimos 5 mil anos, aplicando a razão Mg/Ca em testas do foraminífero planctônico *G. ruber* (pink) em 5 registros sedimentares marinhos coletados entre 24 e 26°S.

1.1 JUSTIFICATIVA

Os estudos paleoceanográficos e paleoclimáticos proporcionam um melhor entendimento, em diversas escalas de tempo, de como a Terra responde às forçantes externas (*i.e.*, insolação) e internas (*i.e.*, mudanças na circulação oceânica) do sistema climático. Assim, podemos comparar a situação do clima atual com os modelos climáticos para avaliar o atual cenário climático, além de realizar estimativas de temperaturas sob determinadas condições (IPCC, 2013).

O AS conecta os Oceanos Pacífico, Índico e Atlântico Norte. Esta conexão faz com que esta bacia tenha um papel fundamental nas trocas interoceânicas de calor e sal (MÜLLER *et al.*, 1998). Portanto, os estudos das características hidrográficas dos sistemas de correntes do AS durante o passado fornecem informações de suma importância sobre a circulação e temperatura global. Deste modo, este estudo visa fornecer dados com escala centenal em uma escala regional, para uma melhor compreensão da paleoceanografia do AS a partir da geração de novo conhecimento sobre variações das condições de TSM da margem continental do SE brasileiro.

1.2 HIPÓTESE

Se a TSM da margem continental SE brasileira aumentou (diminuiu) ao longo do Holoceno Médio, então espera-se encontrar aumento (diminuição) nos valores da razão Mg/Ca obtidos a partir de testas do foraminífero planctônico *G. ruber* (pink).

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo Geral

O objetivo principal deste trabalho é analisar as variações da TSM na margem SE Brasileira ao longo dos últimos 5 mil anos e relacionar estas variações com padrões de circulação regional e global.

1.3.2 Objetivos específicos

- (i) Obter estimativas de TSM por meio de dados da razão Mg/Ca obtidos a partir de testas do foraminífero planctônico *G. ruber* (pink);
- (ii) Construir curvas de variações da TSM ao longo do tempo;
- (iii) Comparar as curvas obtidas com curvas regionais e globais da literatura;
- (iv) Interpretar os resultados obtidos dentro de um contexto paleoceanográfico e paleoclimático regional e global.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

O Holoceno, a Época mais recente do período Quaternário, abrange os últimos 11.700 anos, e é caracterizada por mudanças do nível relativo do mar, atuação de processos geomorfológicos e hidrológicos, pelo desenvolvimento da vegetação moderna, e pela significativa estabilidade do clima, sendo esta última caracterizada, principalmente, pelo aumento da temperatura global desde a Última Era Glacial (WALKER *et al.*, 2012). Walker *et al.* (2012) propõem subdivisões dentro do Holoceno, sendo: Holoceno Inferior, caracterizado pelo aumento da temperatura do ar global, datando entre 11.7 a 7 mil anos atrás; Holoceno Médio, o qual caracteriza-se por temperatura do ar relativamente mais quentes, entre 7 a 4 mil anos atrás; e o Holoceno Tardio, o qual apresenta uma diminuição da temperatura do ar global, iniciando entre 4 a 5 mil anos atrás, até o início da revolução industrial (WANNER *et al.*, 2015).

Estudar o Holoceno é um modo eficaz de entender os processos oceanográficos atuais, uma vez que as condições de contorno do sistema climático da Terra não sofreram mudanças extremas durante essa Época. Além disso, o grande número de registros *proxies* de alta resolução temporal possibilitam uma interpretação mais robusta das mudanças que ocorreram ao longo desta Época (WANNER *et al.*, 2008), viabilizando o estudo de variações climáticas modernas de longo termo (VILLALBA *et al.*, 2009).

A maior parte dos estudos paleoceanográficos e paleoclimáticos disponíveis são provenientes do Hemisfério Norte (VILLALBA *et al.*, 2009). No Hemisfério Norte, Wanner *et al.* (2015) encontraram aumento de temperatura do ar em 9.5 e 7 mil anos atrás. Estes autores relacionaram estas oscilações da temperatura com a reorganização do sistema climático global em resposta às mudanças na direção de correntes oceânicas causadas pelo derretimento das calotas polares do Hemisfério Norte. Ainda, Wanner *et al.* (2008, 2015) propõem que mudanças na incidência da energia solar no Hemisfério Norte durante o Holoceno Médio, promoveram o deslocamento da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) para o sul. Como consequência, os sistemas de monções da África e Ásia foram enfraquecidos, aumentando a aridez nestes continentes. No entanto, estas oscilações são pouco visíveis no Hemisfério Sul ocasionada, principalmente pela ausência estudos neste Hemisfério (WANNER *et al.*, 2015).

Segundo Santos *et al.* (2013), no Holoceno, a porção equatorial do Atlântico Sul apresentou aumento de TSM de aproximadamente 1°C, com aumento significativo durante o Holoceno Médio. Estes autores relacionam este aumento a dois principais processos: (i) mudanças atmosféricas causadas pela incidência solar nas altas latitudes do Hemisfério Norte ou (ii) anomalias da salinidade do Atlântico Sul devido a alterações na Corrente das Agulhas.

O Atlântico Sul tem quatro correntes principais: a Corrente do Brasil (CB), que se localiza à oeste do giro subtropical do Atlântico Sul e flui em direção ao sul; a Corrente do Atlântico Sul (CAS), que segue em direção leste; a Corrente de Benguela (CBE), a qual localiza-se na borda do continente Africano e flui em direção norte; e a Corrente Sul Equatorial (CSE), a qual bifurca-se e dá origem às Correntes do Brasil e a Corrente Norte do Brasil (CNB) na costa nordeste brasileira (PETERSON; STRAMMA, 1991). A corrente que possui a maior influência na costa brasileira é a CB. Esta corrente de contorno oeste

origina-se na bifurcação da CSE. A CB transporta águas quentes, salinas e oligotróficas para sul até encontrar-se com as Correntes das Malvinas (CM), região conhecida como confluência Brasil-Malvinas (STRAMMA, 1991).

Chiessi *et al.* (2014) analisaram testemunhos amostrados no talude continental do Uruguai, para avaliar a oscilação da temperatura e salinidade na coluna d'água da CB no Holoceno Tardio. Estes autores, reportam aumento de 3°C na TSM e associam esse aumento com as mudanças na intensidade da CB e da Circulação Meridional do Atlântico (em inglês *Atlantic Meridional Overturning Circulation – AMOC*²). Além disso, Chiessi *et al.* (2014) observaram oscilações de TSM com periodicidade de *ca.* 730 anos durante o Holoceno Tardio. Periodicidade também observada em registros *proxy* de massas d'água de fundo nas altas latitudes no Atlântico Norte (CHIESSI *et al.*, 2014). Estas oscilações ainda não possuem uma forçante definida, mas acredita-se que houve uma mudança na absorção de energia solar ou na circulação oceânica global.

3 ÁREA DE ESTUDO

O Embaiamento de São Paulo (ESP) é uma região que encontra-se entre Cabo Frio (23°00'S-42°00'W) e o Cabo de Santa Marta (28°30'S-49°00'W). Caracteriza-se por possuir um formato de arco e por apresentar uma plataforma continental que se estende de 73 a 231 km de largura. Esta área não recebe descarga fluvial de grande porte devido a formação da Serra do Mar, a qual desloca os rios maiores para dentro do continente, alimentando as bacias hidrográficas do Rio Paraná e do Rio de La Plata (MAHIQUES *et al.*, 2004). Devido à ausência de aporte fluvial de grande porte, a plataforma continental do sudeste brasileiro é caracterizada por apresentar os processos sedimentares dominados pelos padrões de circulação oceânica (MAHIQUES *et al.*, 2004).

² A AMOC transporta águas quentes de baixas para altas latitudes. Durante este transporte, as águas vão se tornando mais frias, e o calor é transferido para a atmosfera. Quando ela chega nas regiões subpolares e polares, as águas se tornam suficientemente frias e salinas para ir ao fundo, formando as águas profundas. Estas, por sua vez, retornam para as baixas latitudes, fluindo em direção ao equador (GANACHAUD; WUNSCH, 2003; RAYNER *et al.*, 2011).

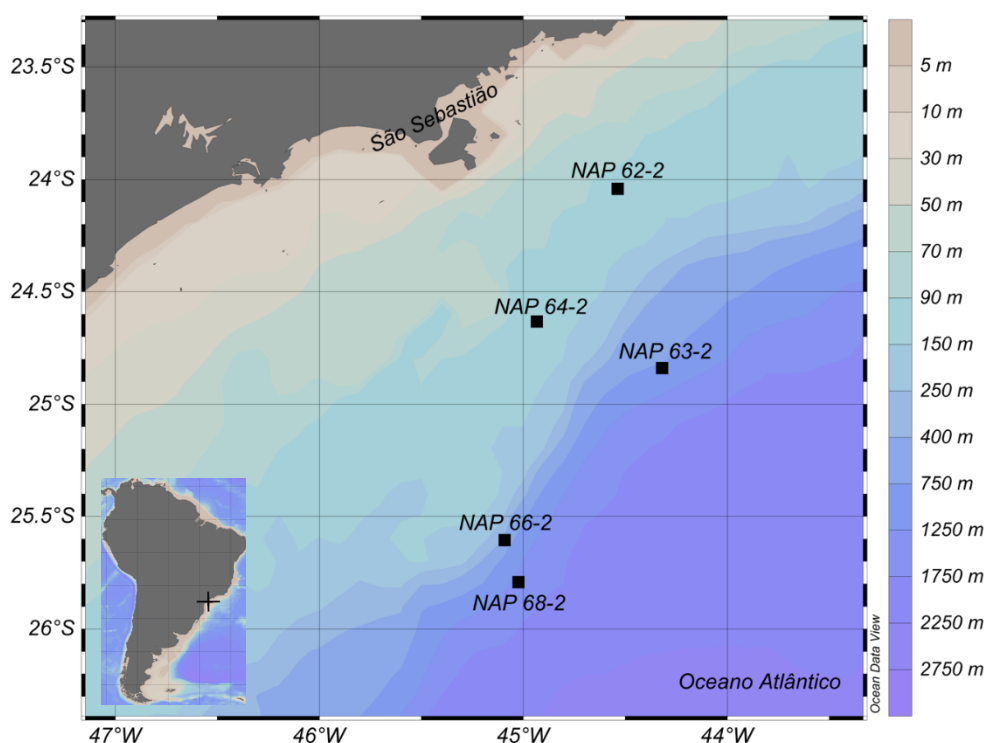


Figura 1 localização da área de estudo e dos testemunhos utilizados neste estudo.

Os sedimentos do fundo oceânico do Embaiamento de São Paulo são compostos por sedimentos muito finos, sendo geralmente areias siliciclásticas finas e lama, além de apresentar quantidades significativas de argila e carbonato de cálcio (MAHIQUES *et al.*, 2004). Os sedimentos mais grossos representam menos de 5% da composição do assoalho oceânico do embaixamento, sendo estes encontrados principalmente na plataforma externa e são relacionados com a deposição sedimentar sobre condições mais baixas do nível do mar (MAHIQUES *et al.*, 2011).

Na plataforma média e externa, os processos sedimentares são dominados pelo fluxo da CB (MAHIQUES *et al.*, 2004, 2009; NAGAI *et al.*, 2009). No ESP, a CB é constituída por duas massas d'água, sendo: Água Tropical (AT; Temperatura > 20°C; Salinidade > 36), a qual localiza-se na superfície e caracteriza-se por ser quente, salina e oligotrófica; e a Água Central do Atlântico Sul (ACAS; Temperatura > 6°C < 20°C; Salinidade > 34,6 e < 36) que é menos salina e mais fria, fluindo no nível da piconclina (SILVEIRA *et al.*, 2000). Dentro do sistema Corrente do Brasil, também ocorre o transporte da contracorrente da Água Intermediária Antártica (AIA; Temperatura entre 3°

e 6°C; Salinidade entre 34,2 e 34,6) e da corrente de Água Profunda do Atlântico Norte (APAN; Temperatura entre 3° e 4°C; Salinidade entre 34,6 e 35). No ESP, abaixo de 25°S, a AT, ACAS e a APAN fluem em direção sul, enquanto a AIA flui em direção norte (SILVEIRA *et al.*, 2000).

O ESP possui duas principais zonas sedimentares, sendo a Ilha de São Sebastião o marco desta divisão (MAHIQUES *et al.*, 2009). Ao sul da Ilha de São Sebastião os processos sedimentares são associados com a interação da CB com a penetração sazonal da pluma do Rio de La Plata (NAGAI *et al.*, 2014). Já ao norte, os processos sedimentares são influenciados pela ressurgência de Cabo Frio e os meandros da Corrente do Brasil (MAHIQUES *et al.*, 2004). Na região da Ilha de São Sebastião, os sedimentos terrígenos, como lama e areais finas, são os principais componentes da plataforma continental. Ao sul da ilha, há um aumento dos sedimentos lamosos em direção à plataforma média e externa, enquanto a parte norte contém sedimentos mais heterogêneos, com maior frequência de deposição de sedimentos lamosos na plataforma média (MAHIQUES *et al.*, 2004).

4 MATERIAIS E MÉTODOS

O material estudado provém de cinco testemunhos curtos coletados com o auxílio de um *multiple-corer* (MUC) durante o cruzeiro do projeto “*Sedimentação da plataforma interna da margem continental sudeste Brasileira: base para modelos paleoclimáticos, paleoceanográficos e de geração de gás, Subprojeto 5 do Geodinâmica de Bacias Sedimentares e implicações para o potencial exploratório (petróleo, gás natural e água subterrânea) - GEO-SEDex*” realizada com o N/Oc. Alpha Crucis, do Instituto Oceanográfico de São Paulo/USP, em fevereiro de 2013, entre as latitudes de 23°S e 25°S (Tabela 1). Os testemunhos foram abertos e sub-amostrados em intervalos regulares de 1 em 1 cm e armazenados sob refrigeração. As amostras foram lavadas e peneiradas em uma malha de 63 µm e secas ao ar livre.

Tabela 1 Localização (Latitude - °S e Longitude - °W) e profundidade da lâmina d'água (m) das estações oceanográficas onde foram coletados os testemunhos, e recuperação da coluna sedimentar (cm). Dados referentes aos testemunhos recuperados para este estudo.

Estação Oceanográfica	Latitude (°S)	Longitude (°W)	Profundidade da lâmina d'água (m)	Recuperação da coluna sedimentar (cm)
NAP62-2	24.042	44.542	121	31
NAP63-2	24.840	44.319	840	31
NAP64-2	24.632	44.494	302	20
NAP66-2	25.605	45.104	368	30
NAP68-2	25.792	45.022	1393	41

A cronologia dos testemunhos foi obtida a partir de datações radiométricas por AMS ^{14}C obtidas no laboratório Beta Analytic Inc. (Miami, USA). Para isso, quando possível, 10 mg (ca. 600-700 espécimes) de testas monoespecíficas da espécie *G. ruber*, na fração $> 150\ \mu\text{m}$, bem preservadas de amostras da base dos testemunhos foram utilizadas. Seguindo Lund *et al.* (2015), foi aplicada uma idade reservatório ΔR de 7 anos com um erro de $\Delta R \pm 200$ anos (1σ). As idades foram calibradas utilizando o com Calib v.7.15 (<http://calib.qub.ac.uk/calib/calib.html>). O topo dos testemunhos foi considerado como o ano da coleta (interface água-sedimento intactas) para o modelo de idade dos testemunhos (MCGREGOR *et al.*, 2015). A taxa de sedimentação não corrigida foi estimada a partir de uma regressão linear simples.

Para as análises dos elementos inorgânicos, de 30 a 40 testas de *G. ruber* (pink), na fração 250-300 μm , foram triadas em um estereomicroscópio. As testas foram gentilmente quebradas entre duas lâminas de vidro e guardadas em tubos tipo *ependorf* previamente limpos. Posteriormente, as testas passaram por um procedimento de limpeza, realizado de acordo como método descrito por Barker *et al.* (2003). Neste procedimento foi realizada a remoção de argilominerais, da matéria orgânica e dos revestimentos de Óxido de Manganês (Mn) e Ferro (Fe). Após o procedimento de limpeza das testas, as amostras foram dissolvidas em ácido diluído (0,001 M). Esta solução foi então analisada utilizando um espectrômetro de massa com plasma acoplado indutivamente (Thermo Scientific iCap Q quadrupole ICP-MS) do *Trace Element Geochemistry Lab* no Lamont-Doherty Earth Observatory da Columbia University (LDEO, New York, US). Réplicas das análises de Mg/Ca ($\sim 15\%$) foram feitas baseadas em

frações separadas com aproximadamente 40 testas de foraminíferos que foram gentilmente quebradas, limpas, e analisadas separadamente. Os valores das razões de Fe/Ca e Mn/Ca foram utilizados para monitorar a confiabilidade dos procedimentos de limpeza (Anexo 2). As amostras que apresentarem valores muito altos na razão Mg/Ca, juntamente com valores altos na razão Fe/Ca e/ou Mn/Ca, não foram incluídas na análise final dos dados.

Para obter as estimativas de TSM a partir do resultado da razão Mg/Ca, foi aplicada a equação de paleotemperatura para a espécie *G. ruber* (Equação 1) proposta por Anand *et al.* (2003):

$$\text{Mg/Ca} = B e^{A.TSM} \quad (\text{Eq. 1})$$

Onde, Mg/Ca equivale ao resultado da razão Mg/Ca para a espécie *G. ruber* (pink) na fração 250 - 300 µm; B (=0.38) a constante relativa à temperatura; e A (=0.09) é o valor da constante exponencial relacionada à variação dos valores da razão Mg/Ca para cada 1°C de temperatura. O erro associado as estimativas de TSM ($\pm 0.4^\circ\text{C}$) foi calculado com base no erro analítico das réplicas (Mg/Ca ± 0.04 mmol/mol) e da correção da equação de paleotemperatura para a espécie *G. ruber* (TSM $\pm 0.3^\circ\text{C}$).

Com o auxílio do software Past3 (v. 3.14), as estimativas de TSM de cada testemunho foram interpoladas em um espaçamento regular de 200 anos. Este espaçamento regular foi adotado para diminuir erros de tendência em relação as amostras com melhores resoluções temporais (MCGREGOR *et al.*, 2015). O testemunho NAP 64-2, por apresentar baixa resolução temporal, não foi incluído na interpolação geral dos dados. Por fim, foi compilada as médias de TSM interpoladas de todos os testemunhos, gerando um “*stack record*”, seguindo Bond *et al.* (2001).

5 RESULTADOS

O testemunho NAP 62-2 representa os últimos 1.36 ka cal AP (Anexo 1), e possui taxa de sedimentação média de 15.24 cm ka^{-1} . Os valores da razão Mg/Ca em testas de

G. ruber (pink) variaram entre 3.37 a 3.92 ± 0.04 mmol/mol (Anexo 3). A TSM estimada com base na razão Mg/Ca apresentou valores médios de $25.1 \pm 0.4^\circ\text{C}$, apresentando as temperaturas mínimas e máximas entre 24.3 a $25.9 \pm 0.4^\circ\text{C}$, em 0.84 e 0.71 ka cal AP, respectivamente (Figura 2E).

O testemunho NAP 63-2 cobre os últimos 4.06 ka cal AP (Anexo 1), apresentando taxa de sedimentação de 5.62 cm ka^{-1} . A razão Mg/Ca apresenta valor máximo (3.88 ± 0.04 mmol/mol) em 4.42 ka cal AP e mínimo (3.14 ± 0.04 mmol/mol) em 3.36 ka cal AP (Figura 2D, Anexo 4). Estes valores, quando aplicados a equação de paleotemperatura, equivalem à valores de TSM de 23.4 e $25.8 \pm 0.4^\circ\text{C}$, com média de $24.9 \pm 0.4^\circ\text{C}$ (Figura 2D). Neste testemunho podemos observar uma tendência de diminuição da TSM de aproximadamente 2.6°C entre 4.60 e 3.36 ka cal AP, com tendência de aumento de aproximadamente 1.5°C da TSM até o Presente (Figura 2D).

O testemunho NAP 64-2 alcança os últimos 5.08 ka cal AP (Anexo 1) com taxa de sedimentação média de 3.41 cm ka^{-1} . Os valores de Mg/Ca variaram de 3.51 a 4.21 ± 0.04 mmol/mol, entre 2.39 e 2.69 ka cal AP, respectivamente (Figura 2C, Anexo 5). A TSM variou entre 24.7 e $26.7 \pm 0.4^\circ\text{C}$, com valores médios de $25.8^\circ\text{C} \pm 0.4$ (Figura 2C). Neste testemunho podemos observar um aumento de aproximadamente 1.8°C na TSM entre 4.48 a 2.69 ka cal AP, e desde então, diminuição nos valores de TSM até o Presente (Figura 2C).

O testemunho NAP 66-2 cobre os últimos 4.94 ka cal AP (Anexo 1), com taxa de sedimentação de 4.20 cm ka^{-1} . A razão Mg/Ca apresentou valores que variaram de 3.70 a 4.52 ± 0.04 mmol/mol, equivalente à TSM entre 25.3 a $27.5 \pm 0.4^\circ\text{C}$, em 2.12 e 2.82 ka cal AP, respectivamente (Figura 2B, Anexo 6). A TSM média observada no testemunho NAP 66-2 é de $26.0^\circ\text{C} \pm 0.4^\circ\text{C}$ (Figura 2B). Entre 4.94 e 2.82 ka cal AP, há uma tendência de aumento da TSM de aproximadamente 1.6°C , e, a partir de 2.82 ka cal AP, a TSM apresenta tendência de diminuição de mesma magnitude (Figura 2B).

No testemunho NAP 68-2 estão representados os últimos 2.85 ka cal AP (Anexo 1), com taxa de sedimentação de 12.6 cm ka^{-1} . Os valores de Mg/Ca variaram de 2.85 a 3.68 ± 0.04 mmol/mol, o que equivale a valores de TSM de 22.3 a $25.2 \pm 0.4^\circ\text{C}$, em 1.19 e 2.14 ka cal AP, respectivamente (Figura 2A, Anexo 7). Neste testemunho observa-se

TSM média de $24.0 \pm 0.4^\circ\text{C}$, nos intervalos entre 2.85 e 1.19 ka cal AP há uma tendência de diminuição da TSM, seguido do aumento das temperaturas até o Presente.

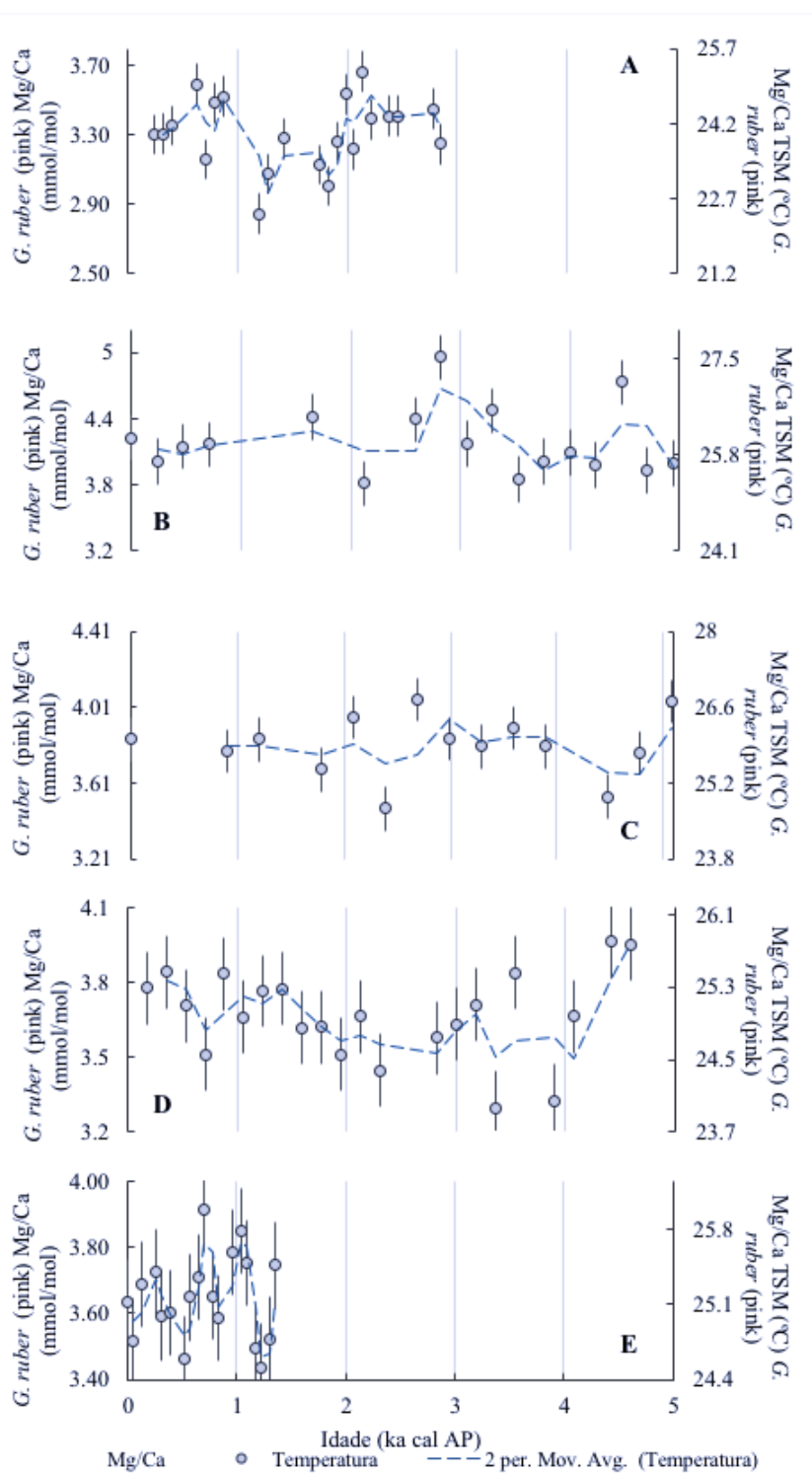


Figura 2 Dados da razão Mg/Ca (mmol/mol) em testas de foraminífero planctônico *G. ruber* (pink) e estimativas de temperatura da superfície do mar (TSM - °C) em amostras sedimentares do Holoceno Tardio

obtidas nos testemunhos (A) NAP 68-2, (B) NAP 66-2, (C) NAP 64-2, (D) NAP 63-2 E (E) NAP 62-2.

6 DISCUSSÃO

A partir de dados geoquímicos (razão Mg/Ca) em testas da espécie de foraminífero planctônico *G. ruber* (pink) obtidas em registros sedimentares marinhos, coletados entre aproximadamente 24 e 26°S, foi possível obter curvas de TSM para a margem SE brasileira nos últimos 5 mil anos. Os dados obtidos neste estudo sugerem que a TSM na margem SE brasileira sofreu variações ao longo do Holoceno Tardio, apresentando uma tendência geral de diminuição. As variações de TSM observadas podem ser interpretadas como resposta às mudanças das condições oceanográficas tanto regionais, como o processo de intensificação da CB, e em escala global, como o enfraquecimento da AMOC.

A comparação entre as curvas de TSM obtidas neste estudo revela a existência de diferenças entre estes registros (Figura 3), reflexo da hidrodinâmica local. Nossos testemunhos podem ser subdivididos em dois grupos: (i) registros com TSM média menor que 25°C (NAP62-2, NAP 63-2 e NAP 68-2) e (ii) maior que 25°C (NAP 64-2 e NAP 66-2). A margem SE brasileira apresenta hidrodinâmica complexa, sob a atuação da Corrente do Brasil (CB), seus meandros e vórtices, formados devido à morfologia da costa e a batimetria de fundo da região (CAMPOS *et al.*, 2000; CALADO *et al.*, 2008, 2010). A frente termal da CB, localizada entre as isóbatas de 200 e 1000 m, tem TSM relativamente maior do que as regiões adjacentes, em direção ao continente e ao largo (LORENZZETTI *et al.*, 2009). Levando em consideração a influência da CB, de seus meandros e vórtices na nossa área de estudo, assumiremos que TSMs inferiores a 25°C estão associadas a influência dos meandros de vórtices da CB, e TSMs acima de 26°C representam a temperatura da CB.

O testemunho NAP 62-2 (24.042°S - 44.542°W, 121 m) foi coletado na plataforma continental e apresenta a maior resolução temporal entre todos os testemunhos. As variações de TSM observadas neste testemunho (Figura 3), podem estar associadas a intrusão da ACAS na plataforma, onde períodos com TSM relativamente menor representam mais eventos de penetração das águas mais frias e ricas em nutrientes da ACAS na plataforma. Durante o verão, a ACAS penetra na plataforma continental SE

brasileira podendo ressurgir devido a: (i) à diminuição do gradiente de profundidade das áreas rasas em direção à plataforma externa; (ii) das condições de ventos que favorecem o fenômeno da ressurgência e; (iii) da variabilidade em mesoescala da CB, como vórtices e meandros (CAMPOS *et al.*, 2000; CALADO *et al.*, 2010; CERDA; CASTRO, 2014). A combinação desses três mecanismos é capaz de fazer com que as águas de fundo sejam transportadas à superfície nas regiões costeiras que, na nossa área de estudo, podem alcançar até os 25°S (CAMPOS *et al.*, 2000). As águas de fundo da ACAS, fornecem nutrientes para a zona fótica, favorecendo o aumento da produção primária nestes ambientes. Como consequência de maior produção primária há maior deposição de material orgânico, permitindo maiores taxas de sedimentação (MAHIQUES *et al.*, 2011). Com isso, a alta taxa de sedimentação (15.24 cm ka^{-1}) encontrada para este testemunho corrobora com influência da penetração da ACAS na TSM da plataforma.

Os testemunhos coletados no talude superior, NAP 64-2 (24.632°S – 44.494°W, 302 m) e NAP 66-2 (25.605°S – 45.104°W, 368 m), registram TSM relativamente maiores do que os outros testemunhos (Figura 3). Estes registros, coletados dentro da zona de influência da frente termal da CB, refletem a temperatura desta corrente ao longo do Holoceno Tardio. As curvas de TSM obtidas nestes testemunhos mostram que ao longo do Holoceno Tardio, a TSM da região da frente termal da CB sofreu pouca ou pequena alteração.

Os registros coletados ao largo da frente termal da CB, NAP 63-2 (24.840°S – 44.319°W, 840 m) e o NAP 68-2 (25.792°S – 45.022°W, 1393 m), recuperados no talude inferior, apresentam TSM média relativamente menor em relação aos outros testemunhos (Figura 3). Assim como no testemunho NAP62-2, as curvas de TSM obtidas nestes dois testemunhos refletem a TSM das regiões adjacentes a frente termal da CB, as quais são relativamente mais frias dos que as da frente termal (LORENZZETTI *et al.*, 2009), porém estes testemunhos estão ao largo da frente termal. Nessa região, os vórtices e meandros da CB induzem a ascensão da ACAS para a superfície, aumentando a produtividade primária na região (CALADO *et al.*, 2008). Assim, as maiores taxas de sedimentação encontradas nestes testemunhos também estão relacionadas com o aumento da produtividade primária induzida pela presença das águas frias e ricas em nutrientes da ACAS na zona fótica.

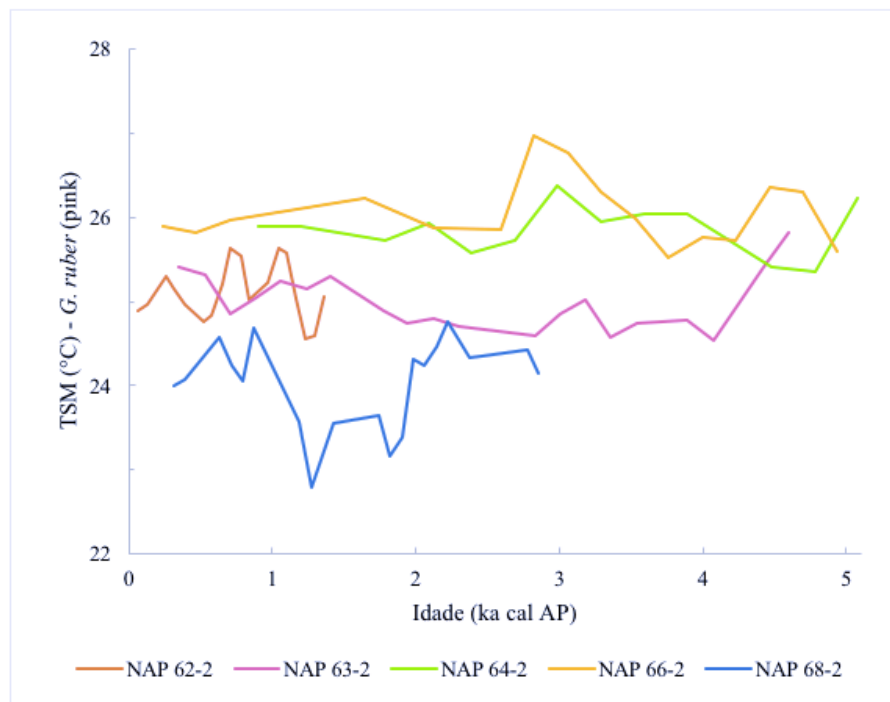


Figura 3 Estimativa das variações da temperatura superficial do mar (TSM - °C) a partir da razão Mg/Ca obtida em testas de foraminíferos planctônicos da espécie *G. ruber* (pink). Os cinco testemunhos foram coletados entre 24 a 26 °S; 44 a 46°W. As temperaturas foram estimadas após a aplicação da equação de paleotemperatura proposta por Anand *et al.* (2003).

A partir da avaliação conjunta das curvas de TSM obtidas para os registros sedimentares da margem SE brasileira é possível afirmar que a intensidade da CB, seus vórtices e meandros, são os principais mecanismos que atuam na dinâmica da TSM na nossa área de estudo. A intensidade da CB influencia positivamente a formação de meandros e vórtices, ou seja, a intensificação da CB, promove a formação de mais meandros e vórtices, dada a geomorfologia da região (CALADO *et al.*, 2010) e, conseqüentemente maior ocorrência de ressurgência costeira e de quebra de plataforma, trazendo águas mais profundas e mais frias para a superfície da margem SE brasileira. Dessa forma, é possível assumir que diminuição (aumento) de TSM em nossos registros reflete fluxo da CB fortalecido (enfraquecido).

A distribuição dos nossos registros abrange uma área de aproximadamente 200 km², possibilitando a realização de uma reconstituição de TSM em mesoescala ou com abrangência regional (ZHU *et al.*, 2004) através da obtenção de um *stack record* de TSM

(Figura 4). A observação, de forma unificada, das estimativas de TSM da margem SE brasileira permite a identificação de uma tendência geral de diminuição da TSM ao longo do Holoceno Tardio (Figura 4). Ainda, ao longo do Holoceno Tardio a tendência geral de diminuição da TSM apresenta duas fases distintas: (i) entre aproximadamente 5 e 2 ka cal AP há tendência de diminuição da TSM (de 25.5 a 24.9°C) e (ii) após 2 ka cal AP há tendência suave de aumento da TSM (em aproximadamente 0.4°C). Assim, nossos dados sugerem que nos últimos 5 mil anos houve fortalecimento do fluxo da CB na margem SE brasileira, marcado por duas fases: (i) de 5 a 2 ka cal AP, a tendência mais acentuada de diminuição da TSM ao longo deste período sugere o fortalecimento da CB; e (ii) entre 2 ka cal AP até o Presente, um pequeno enfraquecimento da CB, é sugerido pela tendência de aumento da TSM.

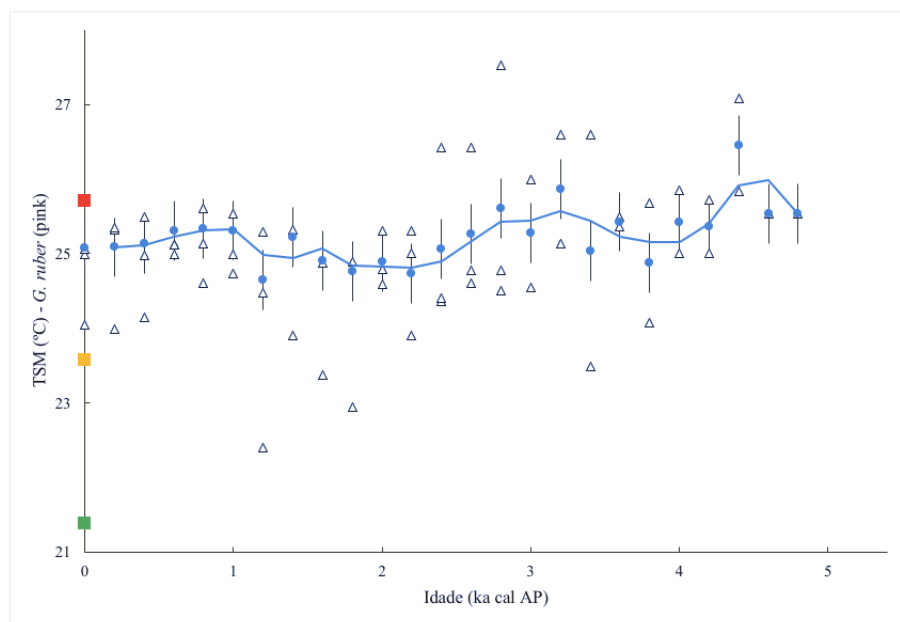


Figura 4 Variações na temperatura da superfície do mar (TSM - °C) na margem se brasileira no Holoceno Tardio. Círculos cheios representam o “stack record” de TSM com base em razão Mg/Ca em *G. ruber* (pink) obtido a partir da média dos dados interpolados (com espaçamento regular de 200 anos McGregor *et al.* (2015) de TSM dos testemunhos NAP 62-2, NAP 63-2, NAP 66-2 e NAP 68-2, e os triângulos vazados representam os dados de TSM interpolados. Os quadrados amarelo, verde e vermelho representam a TSM média moderna anual (23.5°C), de inverno (21.3°C) e de verão (25.9°C), respectivamente, retirados da base de dados World Ocean Database, 2013 (LOCARNINI *ET AL.*, 2013).

Outros estudos realizados na margem continental do Atlântico Sudoeste (Figura 5) também reportam mudanças na TSM ao longo dos últimos 5 ka cal AP. Pível *et al.* (2013), por exemplo, utilizam a composição da associação de foraminíferos planctônicos para

reconstruir a TSM em um testemunho recuperado na Bacia de Santos (25.84°S – 45.2°W, 827 m) (Figura 6D). Estes autores reportam TSM média de 26.8°C no Holoceno, com valores relativamente mais altos de TSM (27.6°C) em aproximadamente 3.5 ka cal AP, e a mais baixos (25.5°C) em 0.4 ka cal AP, com tendência geral de diminuição da TSM no Holoceno Tardio. Em contrapartida, Chiessi *et al.* (2014), a partir da razão Mg/Ca em espécimes de foraminífero planctônico *G. ruber* (white) em dois testemunhos coletados em 32.51°S - 50.24°W (657 m de profundidade) (Figura 6E), reportam para tendência de aumento na TSM nos últimos 5 mil anos. Estes autores, encontram TSM média de 23.3°C, oscilando entre 21.1°C e 25.3°C.

Cabe ressaltar que as diferenças nos valores de TSM entre estes trabalhos (Figura 6C, 6D, 6E) estão, muito provavelmente, relacionadas as diferenças metodológicas aplicadas para realizar tais estimativas. Pivel *et al.* (2013) utilizam a técnica de função de transferência (Redes Neurais Artificiais – ANN) para obtenção de TSM. Este método leva em consideração a composição geral das assembleias dos foraminíferos planctônicos e sua relação com a TSM do Presente, para então reconstruir os valores da TSM do passado. Assim, as temperaturas encontradas por Pivel *et al.* (2013) tendem a ser mais distintas por estes autores analisarem espécies que possuem diferentes profundidades de calcificação como um único registro de TSM.

Já Chiessi *et al.* (2014) utilizam a razão Mg/Ca da testa de foraminíferos planctônicos, no morfotipo *white* da espécie *G. ruber*, e aplicaram a equação de paleotemperatura da espécie *G. ruber* para realizar as estimativas de paleotemperatura dos testemunhos analisados por esses autores. Este trabalho também utiliza a razão Mg/Ca em testas de foraminíferos planctônicos, porém no morfotipo *pink* da espécie *G. ruber*. Como citado anteriormente, a espécie *G. ruber* possui dois morfotipos, *G. ruber* (white) e *G. ruber* (pink), os quais habitam e calcificam suas testas em diferentes profundidades (RICHEY *et al.*, 2012). Na margem SE brasileira, *G. ruber* (pink) ocupa os primeiros 20 m da coluna d'água, enquanto *G. ruber* (white) se distribui até os 50 m (SOUSA *et al.* 2014), ou seja, a *G. ruber* (pink) reflete mais temperaturas de superfície do mar do que o morfotipo *white*. A diferença no morfotipo aplicado e a localização de coleta dos testemunhos (aproximadamente 7° de latitude) pode explicar a diferença entre as médias de TSM obtidas neste trabalho e por Chiessi *et al.* (2014).

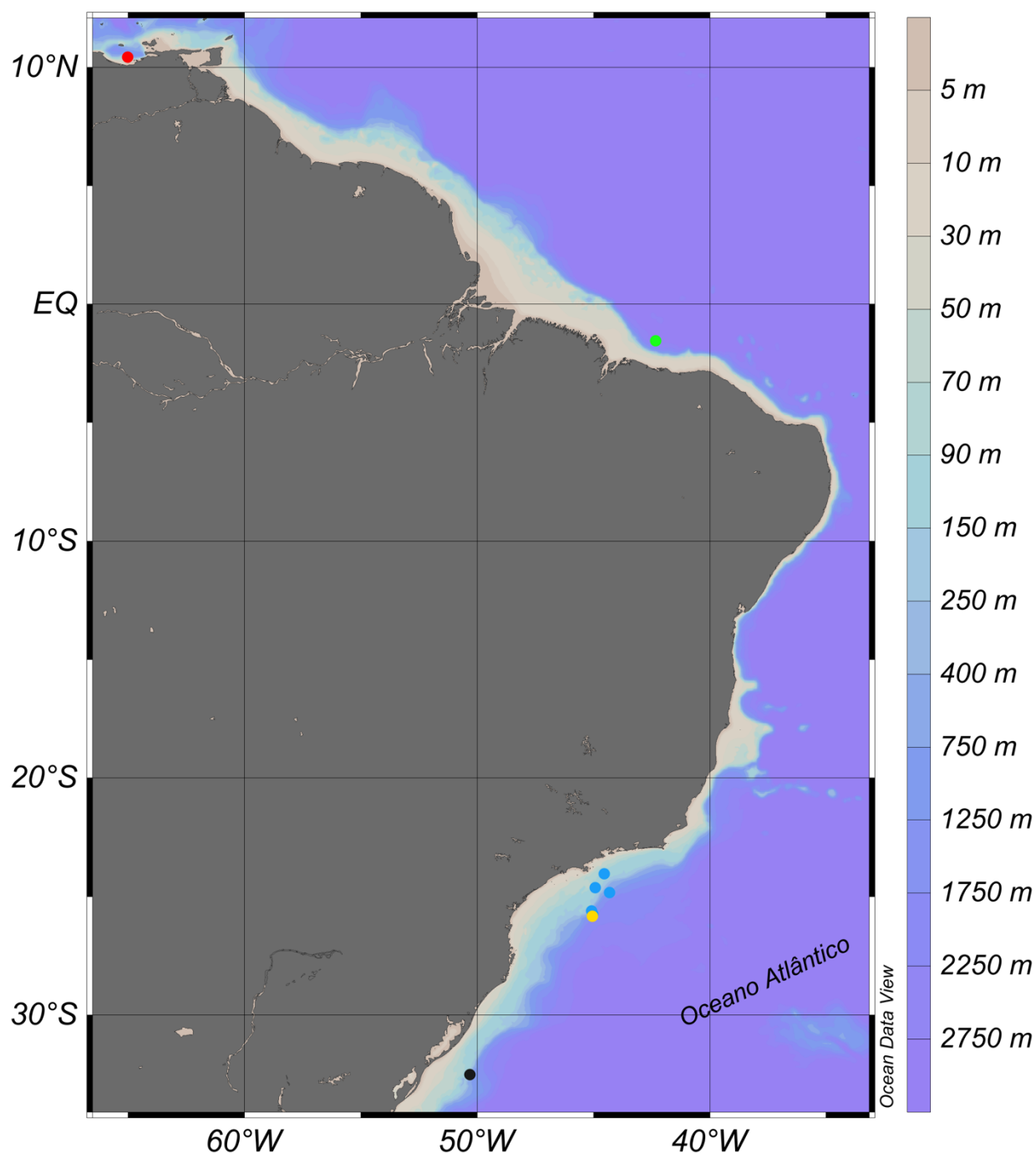


Figura 5 Mapa de localização dos testemunhos deste estudo (círculos azuis - NAP 62-2, 63-2, 64-2, 66-2 e 68-2, Tabela 1). O círculo preto representa o local onde Chiessi *et al.* (2014) recuperaram o testemunho GeoB6211-1/2 (32.51°S - 50.24°W, 657 m de profundidade). O círculo amarelo representa a localização onde Pivel *et al.* (2013) recuperaram o testemunho LaPAS-KF02 (25.84°S - 45.2°W, 827 m de profundidade). O círculo verde representa a localização onde Taniguchi (2015) recuperou o testemunho GeoB16204-2 (1°59S - 42°20W, 1211 m de profundidade), e o círculo vermelho representa a localização onde Haug *et al.* (2001) recuperaram o testemunho PL07-56 PC (10°42N - 65°10W, 893 m de profundidade).

No Holoceno Tardio, Pivel *et al.* (2013) relacionam a diminuição da TSM com o fortalecimento do processo de ressurgência de quebra de plataforma no Embaiamento de São Paulo, em resposta à intensificação dos ventos de Nordeste com o deslocamento para oeste do Sistema de Alta Pressão do Atlântico Sul. Segundo estes autores, esse deslocamento seria produto da intensificação do Sistema de Monção da América do Sul (SMAS) e da Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS), em resposta ao deslocamento para sul da ZCIT (Figura 6A). Além disso, Pivel *et al.* (2013) também relacionam a mudança do regime de ventos como um fator relevante no enfraquecimento da AMOC. O deslocamento latitudinal norte-sul da ZCIT afeta a posição da bifurcação da CSE para sul (norte), aumentando (diminuindo) o transporte de calor da CNB e enfraquecendo (fortalecendo) a CB (RODRIGUES *et al.*, 2007) e, deste modo, fortalecendo (enfraquecendo) a AMOC, uma vez que a CNB e a AMOC possuem comportamentos sincrônicos (ZHANG *et al.*, 2011).

A relação de anti-fase entre a CB e a CNB no Holoceno Tardio foi investigada por Chiessi *et al.* (2014). Esses autores, relacionam anomalias positivas (negativas) de TSM encontradas na margem continental do Atlântico Sudoeste com intensificação (enfraquecimento) CB em detrimento da CNB e, consequentemente, da AMOC. Deste modo, a tendência geral de aumento da TSM encontrada por Chiessi *et al.* (2014) no Holoceno Tardio (Figura 6D) representa a intensificação da CB e o enfraquecimento da AMOC durante esse período. Os autores relacionaram os resultados encontrados por eles com as anomalias negativas de TSM no Atlântico Norte (BERNER *et al.*, 2008), o que indica uma AMOC mais fraca, e com as anomalias positivas de precipitação no sudeste da América do Sul (STRIKIS *et al.*, 2011), o que caracteriza o deslocamento sul da ZCIT.

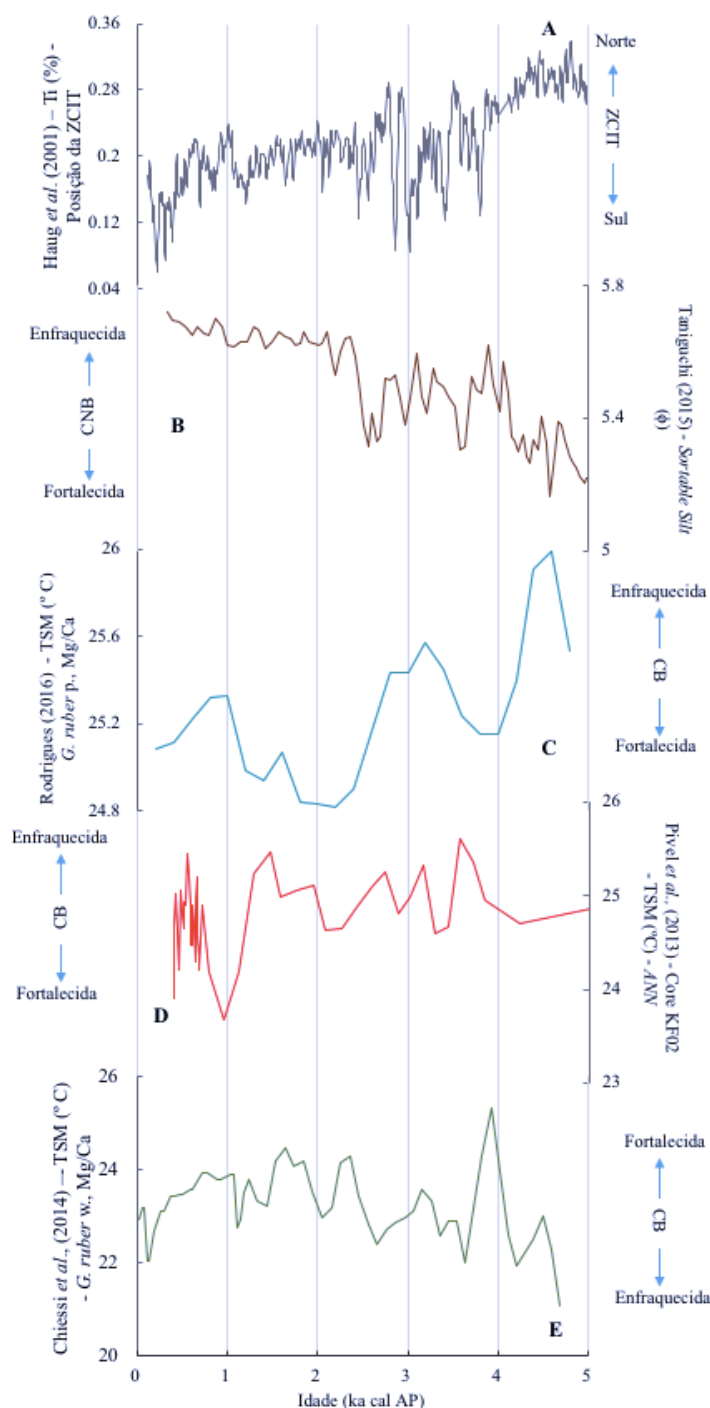


Figura 6 O gráfico 6A representa a posição da Zona De Convergência Inter Tropical (ZCIT) obtida por Haug *et al.* (2001), onde foi utilizada a concentração de titânio (%) como *proxy* de precipitação na bacia de Cariaco, na Venezuela (10°42'N - 65°10'W, 893 m de profundidade), no qual os maiores valores representam maior precipitação (deslocamento para o norte), e os menores valores representam menor precipitação (deslocamento sul). O gráfico 6B representa a intensidade da Corrente Norte do Brasil (CNB) realizada por Taniguchi (2015), obtida em um testemunho coletado na desembocadura do rio Parnaíba (1°59'S - 42°20'W, 1211 m de profundidade) por meio da análise de *sortable silt* (ϕ), onde os maiores (menores) valores representam CNB enfraquecida (fortalecida). O gráfico 6C representa a variação de TSM encontrada neste trabalho, e os gráficos 6D e 6E representam os dados de paleotemperatura obtidos por Chiessi *et al.* (2014) e por Pivel *et al.* (2013), respectivamente.

Com o intuito de analisar variações na intensidade da CNB ao longo do Holoceno Médio e Tardio, Taniguchi (2015) aplicou a técnica de *sortable silt* como *proxy* em um testemunho coletado na margem do Atlântico Equatorial (1°59S - 42°20W, 1211 m). Taniguchi (2015) observa o enfraquecimento da CNB nos últimos 8 mil anos (Figura 6B). Esta autora descreve dois cenários, entre 5 a 2.5 ka cal AP, um período marcado por grande variabilidade na intensidade da CNB, mas com predominância da diminuição da intensidade desta corrente; e de 2.5 ka cal AP ao Presente, com maior estabilidade da CNB, mas ainda apresentando diminuição em sua intensidade. Uma vez que a intensidade da CNB reflete a intensidade da AMOC, Taniguchi (2015) propõem que a AMOC enfraqueceu ao longo dos últimos 5 mil anos.

Nossos dados sugerem que nos últimos 5 mil anos, há uma tendência geral de fortalecimento da CB em detrimento da AMOC, o que está de acordo com outros trabalhos realizados na margem continental do Atlântico Sudoeste, corroborando com a hipótese de uma relação de anti-fase entre a intensidade da CB e da CNB, relacionada com a intensidade da AMOC.

7 CONCLUSÕES

A partir dos resultados dos nossos registros, foi possível reconstruir a TSM da margem SE Brasileira durante os últimos 5 ka cal AP. Nossos dados sugerem diminuição da TSM nos últimos 5 ka relacionada com o fortalecimento da CB e enfraquecimento da AMOC. Estas variações de intensidade estão relacionadas com o deslocamento para sul da ZCIT ao longo do Holoceno Tardio. Este trabalho fortalece a hipótese da existência de uma relação de anti-fase entre a CB e a AMOC, favorecendo uma melhora no entendimento das condições paleoceanográficas desta região.

8 REFERÊNCIAS

- ANAND, P., ELDERFIELD, H., CONTE, M.H. **Calibration of Mg/Ca thermometry in planktonic foraminifera from a sediment trap time series**. *Paleoceanography*, 18(2). 2003.
- BARKER, S., GREAVES, M., ELDERFIELD, H. **A study of cleaning procedures used for foraminiferal Mg/Ca paleothermometry**. *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, 4(9). 2003.
- BARKER, S., CACHO, I., BENWAY, H., TACHIKAWA, K. **Planktonic foraminiferal Mg/Ca as a proxy for past oceanic temperatures: a methodological overview and data compilation for the Last Glacial Maximum**. *Quaternary Science Reviews*, 24(7), pp.821-834. 2005.
- BOND, G. G., KROMER, B., BEER, J., MUSCHELER, R., EVANS, M., SHOWERS, W., HOFFMANN, S., LOTTI-BOND, R., HAJDAS, I., AND BONANI, G. **Persistent Solar Influence on North Atlantic Climate During the Holocene**. *Science*, 294, 2130–2136. 2001.
- BERNER, K.S., KOÇ, N., DIVINE, D., GODTLIEBSEN, F. AND MOROS, M. **A decadal-scale Holocene sea surface temperature record from the subpolar North Atlantic constructed using diatoms and statistics and its relation to other climate parameters**. *Paleoceanography*, 23(2). 2008.
- BRADLEY, R.S. **Past global changes and their significance for the future**. *Quaternary Science Reviews*, 19(1), pp.391-402. 2000.
- CALADO, L., GANGOPADHYAY, A. AND DA SILVEIRA, I.C.A. **Feature-oriented regional modeling and simulations (FORMS) for the western South Atlantic: Southeastern Brazil region**. *Ocean Modelling*, 25(1), pp.48-64. 2008.
- CALADO, L., DA SILVEIRA, I. C. A., GANGOPADHYAY, A., & DE CASTRO, B. M. **Eddy-induced upwelling off Cape São Tomé (22 S, Brazil)**. *Continental Shelf Research*, 30(10), 1181-1188. 2010.
- CAMPOS, E. J., VELHOTE, D., & DA SILVEIRA, I. C. **Shelf break upwelling driven by Brazil Current cyclonic meanders**. *Geophysical Research Letters*, 27(6), 751-754. 2000.
- CERDA, C. AND CASTRO, B.M. **Hydrographic climatology of South Brazil Bight shelf waters between Sao Sebastiao (24 S) and Cabo Sao Tome (22 S)**. *Continental Shelf Research*, 89, pp.5-14. 2014.

CHIESSI, C.M., MULITZA, S., GROENEVELD, J., SILVA, J.B., CAMPOS, M.C., GURGEL, M.H. **Variability of the Brazil Current during the late Holocene.** *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 415, pp.28-36. 2014.

CLEROUX, C., CORTIJO, E., ANAND, P., LABEYRIE, L., BASSINOT, F., CAILLON, N. AND DUPLESSY, J.C. **Mg/Ca and Sr/Ca ratios in planktonic foraminifera: Proxies for upper water column temperature reconstruction.** *Paleoceanography*, 23(3). 2008.

GANACHAUD, A., WUNSCH, C. **Large-Scale Ocean Heat and Freshwater Transports during the World Ocean Circulation Experiment.** *J. Climate*, 16, 696–705. DOI: [http://dx.doi.org/10.1175/1520-0442\(2003\)016<0696:LSOHAF>2.0.CO;2](http://dx.doi.org/10.1175/1520-0442(2003)016<0696:LSOHAF>2.0.CO;2). 2003.

GROENEVELD, J., CHIESSI, C.M. **Mg/Ca of Globorotalia inflata as a recorder of permanent thermocline temperatures in the South Atlantic.** *Paleoceanography*, 26(2). 2011.

HAUG, G.H., HUGHEN, K.A., SIGMAN, D.M., PETERSON, L.C. AND RÖHL, U. **Southward migration of the intertropical convergence zone through the Holocene.** *Science*, 293(5533), pp.1304-1308. 2001.

HEMLEBEN, C., SPINDLER, M., ERSON, O.R. **Modern planktonic foraminifera.** Springer, Berlin. 1989.

IPCC. **Climate Change 2013: The Physical Science Basis.** Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 1535 pp, doi:10.1017/CBO9781107415324. 2013.

KUCERA, M. **Planktonic foraminifera as tracers of past oceanic environments.** *Developments in marine geology*, 1(6), pp.213-262. 2007.

LESSA, D.V. O, RAMOS, R.P., BARBOSA, C.F., DA SILVA, A.R., BELEM, A., TURCQ, B. AND ALBUQUERQUE, A.L. **Planktonic foraminifera in the sediment of a western boundary upwelling system off Cabo Frio, Brazil.** *Marine Micropaleontology*, 106, pp.55-68. 2014.

LOCARNINI, R. A., BOYER, T.P., J. I. ANTONOV, O. K. BARANOVA, C. COLEMAN, H. E. GARCIA, A. GRODSKY, D. R. JOHNSON, A. V. MISHONOV, T.D. O'BRIEN, C.R. PAVER, J.R. REAGAN, D. SEIDOV, I. V. SMOLYAR, AND M. M. ZWENG. **World Ocean Database 2013**, NOAA Atlas NESDIS 72, S. Levitus, Ed., A. Mishonov, Technical Ed.; Silver Spring, MD, 209 pp., <http://doi.org/10.7289/V5NZ85MT>. 2013.

LORENZZETTI, J.A., STECH, J.L., MELLO FILHO, W.L. AND ASSIREU, A.T. **Satellite observation of Brazil Current inshore thermal front in the SW South Atlantic:**

Space/time variability and sea surface temperatures. *Continental Shelf Research*, 29(17), pp.2061-2068. 2009.

LUND, D.C., TESSIN, A.C., HOFFMAN, J.L., SCHMITTNER, A. **Southwest Atlantic water mass evolution during the last deglaciation**. *Paleoceanography*, 30(5), pp.477-494. 2015.

MAHIQUES, M.M., SOUSA, S.H., BURONE, L., NAGAI, R.H., SILVEIRA, I.C., FIGUEIRA, R.C., SOUTELINO, R.G., PONSONI, L., KLEIN, D.A. **Radiocarbon geochronology of the sediments of the São Paulo Bight (southern Brazilian upper margin)**. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 83(3), pp.817-834. 2011.

MAHIQUES, M.M., TESSLER, M.G., CIOTTI, A.M., SILVEIRA, I.C.A., SOUSA, S.H.D.M., FIGUEIRA, R.C.L., TASSINARI, C.C.G., FURTADO, V.V., PASSOS, R.F. **Hydrodynamically driven patterns of recent sedimentation in the shelf and upper slope off Southeast Brazil**. *Continental Shelf Research*, 24(15), pp.1685-1697. 2004.

MAHIQUES, M.M., WAINER, I.K.C., BURONE, L., NAGAI, R., E SOUSA, S.H.D.M., FIGUEIRA, R.C.L., DA SILVEIRA, I.C.A., BÍCEGO, M.C., ALVES, D.P.V. AND HAMMER, Ø. **A high-resolution Holocene record on the Southern Brazilian shelf: paleoenvironmental implications**. *Quaternary International*, 206(1), pp.52-61. 2009.

MCGREGOR, H.V., EVANS, M.N., GOOSSE, H., LEDUC, G., MARTRAT, B., ADDISON, J.A., MORTYN, P.G., OPPO, D.W., SEIDENKRANTZ, M.S., SICRE, M.A. AND PHIPPS, S.J. **Robust global ocean cooling trend for the pre-industrial Common Era**. *Nature Geoscience*. 2015.

MÜLLER, T.J., IKEDA, Y., ZANGENBERG, N., NONATO, L.V. **Direct measurements of western boundary currents off Brazil between 20 S and 28 S**. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 103(C3), pp.5429-5437. 1998.

NAGAI, R.H., SOUSA, S.H.M., BURONE, L. AND MAHIQUES, M.M. **Paleoproductivity changes during the Holocene in the inner shelf of Cabo Frio, southeastern Brazilian continental margin: Benthic foraminifera and sedimentological proxies**. *Quaternary International*, 206(1), pp.62-71. 2009.

PETERSON, R.G., STRAMMA, L. **Upper-level circulation in the South Atlantic Ocean**. *Progress in oceanography*, 26(1), pp.1-73. 1991.

PIVEL, M. A. G., SANTAROSA, A. C. A., TOLEDO, F. A. L., COSTA, K. B. **The Holocene onset in the southwestern South Atlantic**. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 374, 164-172. 2013.

RAYNER, D., HIRSCHI, J.J.M., KANZOW, T., JOHNS, W.E., WRIGHT, P.G., FRAJKA-WILLIAMS, E., BRYDEN, H.L., MEINEN, C.S., BARINGER, M.O., MAROTZKE, J., BEAL, L.M. **Monitoring the Atlantic meridional overturning circulation**. *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*, 58(17), pp.1744-1753. 2011.

RICHEY, J.N., POORE, R.Z., FLOWER, B.P. AND HOLLANDER, D.J., 2012. **Ecological controls on the shell geochemistry of pink and white Globigerinoides ruber in the northern Gulf of Mexico**: Implications for paleoceanographic reconstruction. *Marine Micropaleontology*, 82, pp.28-37. 2012.

RODRIGUES, R.R., ROTHSTEIN, L.M. AND WIMBUSH, M. **Seasonal variability of the South Equatorial Current bifurcation in the Atlantic Ocean**: A numerical study. *Journal of Physical Oceanography*, 37(1), pp.16-30. 2007.

ROSENTHAL, Y. **Elemental Proxies for Reconstructing Cenozoic Seawater Paleotemperatures from Calcareous Fossils**. Chapter Nineteen. *Developments in Marine Geology*, 1, pp.765-797. 2007.

SANTOS, T. P., FRANCO, D. R., BARBOSA, C. F., BELEM, A. L., DOKKEN, T., ALBUQUERQUE, A. L. S. **Millennial-to centennial-scale changes in sea surface temperature in the tropical South Atlantic throughout the Holocene**. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 392, 1-8. 2013.

SHINDELL, D. T., SCHMIDT, G. A. **Southern Hemisphere climate response to ozone changes and greenhouse gas increases**. *Geophysical Research Letters* 31.18. 2004.

SILVEIRA, I.C.A.D., SCHMIDT, A.C.K., CAMPOS, E.J.D., GODOI, S.S.D.; IKEDA, Y. **A corrente do Brasil ao largo da costa leste brasileira**. *Revista Brasileira de Oceanografia*, 48(2), pp.171-183. 2000.

SOUTO, D. D., DE OLIVEIRA LESSA, D. V., ALBUQUERQUE, A. L. S., SIFEDDINE, A., TURCQ, B. J., BARBOSA, C. F. **Marine sediments from southeastern Brazilian continental shelf**: A 1200year record of upwelling productivity. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 299(1), 49-55. 2011.

SOUSA, S.H.M., DE GODOI, S.S., AMARAL, P.G.C., VICENTE, T.M., MARTINS, M.V.A., SORANO, M.R.G.S., GAETA, S.A., PASSOS, R.F., MAHIQUES, M.M. **Distribution of living planktonic foraminifera in relation to oceanic processes on the southeastern continental Brazilian margin (23° S–25° S and 40° W–44° W)**. *Continental Shelf Research*, 89, pp.76-87. 2014.

STRAMMA L. **Geostrophic transport of the South Equatorial Current in the Atlantic**. *J. Mar. Res.*, 49(2): 281–294. 1991.

STRAMMA, L., & ENGLAND, M. **On the water masses and mean circulation of the South Atlantic Ocean**. *Journal of Geophysical Research: Oceans* (1978–2012), 104(C9), 20863-20883. 1999.

STRIKIS, N.M., CRUZ, F.W., CHENG, H., KARMANN, I., EDWARDS, R.L., VUILLE, M., WANG, X., DE PAULA, M.S., NOVELLO, V.F. AND AULER, A.S. **Abrupt variations in**

South American monsoon rainfall during the Holocene based on a speleothem record from central-eastern Brazil. *Geology*, 39(11), pp.1075-1078. 2011.

TANIGUCHI, N.K. **Reconstituição paleoceanográfica e inferências paleoclimáticas na margem equatorial Brasileira no Holoceno Médio e Tardio** Dissertação de Mestrado. Universidade de São Paulo. 2015.

VILLALBA, R., GROSJEAN, M., KIEFER, T. **Long-term multi-proxy climate reconstructions and dynamics in South America (LOTRED-SA): state of the art and perspectives.** *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 281(3), 175-179. 2009.

WALKER, M. J. C., BERKELHAMMER, M., BJÖRCK, S., CWYNAR, L. C., FISHER, D. A., LONG, A. J., LOWE, J.J., NEWNHAM, R.M., RASMUSSEN, S.O. WEISS, H. **Formal subdivision of the Holocene Series/Epoch:** a Discussion Paper by a Working Group of INTIMATE (Integration of ice-core, marine and terrestrial records) and the Subcommittee on Quaternary Stratigraphy (International Commission on Stratigraphy). *Journal of Quaternary Science*, 27(7), 649-659. 2012.

WANNER, H., BEER, J., BUETIKOFER, J., CROWLEY, T.J., CUBASCH, U., FLUECKIGER, J., GOOSSE, H., GROSJEAN, M., JOOS, F., KAPLAN, J.O., KUETTEL, M. **Mid-to Late Holocene climate change:** an overview. *Quaternary Science Reviews*, 27(19), pp.1791-1828. 2008.

WANNER, H., MERCOLLI, L., GROSJEAN, M., RITZ, S.P. **Holocene climate variability and change:** a data-based review. *Journal of the Geological Society*, 172(2), pp.254-263. 2015.

WEFER, G., BERGER, W.H., BIJMA, J., FISCHER, G. **Clues to ocean history: a brief overview of proxies.** In *Use of proxies in paleoceanography* (pp. 1-68). Springer Berlin Heidelberg. 1999.

WELDEAB, S., SCHNEIDER, R.R. AND KÖLLING, M. **Comparison of foraminiferal cleaning procedures for Mg/Ca paleothermometry on core material deposited under varying terrigenous-input and bottom water conditions.** *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, 7(4). 2006.

ZHANG, D., MSADEK, R., MCPHADEN, M.J. AND DELWORTH, T. **Multidecadal variability of the North Brazil Current and its connection to the Atlantic meridional overturning circulation.** *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 116(C4). 2011.

ZHU, XUN, XIAOFAN LI, MING CAI, SHUNTAI ZHOU, YUEJIAN ZHU, FEI-FEI JIN, XIAOLEI ZOU, AND MINGHUA ZHANG, EDS. **Observation, Theory and Modeling of Atmospheric Variability:** Selected Papers of Nanjing Institute of Meteorology Alumni in Commemoration of Professor Jijia Zhang. Vol. 3. World Scientific, 2004.

9 ANEXOS

Anexo 1 Resultados da datação por radiocarbono dos testemunhos utilizados neste estudo (AP - Antes do Presente). É preciso realizar a calibração das idades porque a taxa de $^{14}\text{C}/^{12}\text{C}$ atmosférico não é constante. As datações de radiocarbono nos dão as idades em “anos de radiocarbono”. Assim, a calibração das idades tem como objetivo converter as idades para idades em anos civis.

Testemunho	Profundidade no testemunho(cm)	Lab ID	^{14}C Idade (anos AP) $\pm 1\sigma$	2σ cal range (anos AP)	Média (anos cal AP)
NAP62-2	22	368261	1880 +/- 30	999 - 1886	1360
NAP63-2	25	368262	4330 +/- 30	3884 - 4963	4060
NAP64-2	16	368263	4560 +/- 30	4161 - 5256	5080
NAP66-2	23	368265	5140 +/- 30	4948 - 5918	4940
NAP68-2	37	368266	3230 +/- 30	2560 - 3552	2580

Anexo 2 Verificação da eficiência dos procedimentos de limpeza das testas de *G. ruber* (pink) e estabelecimento de critérios para rejeição de dados

As amostras provenientes dos testemunhos coletados nas áreas mais rasas (<400m, NAP62-2, NAP64-2 e NAP66-2) da nossa área de estudo apresentaram valores elevados de razões Fe/Ca (100-700 $\mu\text{mol/mol}$) e Mn/Ca (100-200 $\mu\text{mol/mol}$). O que potencialmente indica problemas no procedimento de limpeza, na etapa de eliminação de fases silissicláticas (BARKER *et al.*, 2003). Na mesma linha desses autores, CLEROUX *et al.* (2008) sugerem que amostras com valores de razões Fe/Ca ou Mn/Ca acima de >100 $\mu\text{mol/mol}$ sejam rejeitadas. No entanto, a adoção deste critério para nossas amostras implicaria na rejeição da maior parte das amostras.

Valores elevados de razões Fe/Ca e Mn/Ca (entre 100-300 $\mu\text{mol/mol}$) também foram encontrados por Weldeab *et al.* (2006) e Richey *et al.* (2012) para análises de razões elemento: Ca em testas de *G. ruber* (pink). Estes autores assumem que a ausência de correlação significativa entre valores de Mg/Ca e Fe/Ca e Mg/Ca e Mn/Ca, indica que não há interferência das fases silissicláticas nos valores de Mg/Ca. De fato, para nossas amostras não há correlação significativa entre as razões Mg/Ca e Fe/Ca ou Mn/Ca (Figura 8). Assim, nós optamos por não rejeitar amostras com valores de razão Fe/Ca e Mn/Ca >100 $\mu\text{mol/mol}$, nós apenas rejeitamos amostras com valores de razão Fe/Ca >400 $\mu\text{mol/mol}$ e razão Mn/Ca >200 $\mu\text{mol/mol}$, quando acompanhadas de valores de razão Mg/Ca muito elevados.

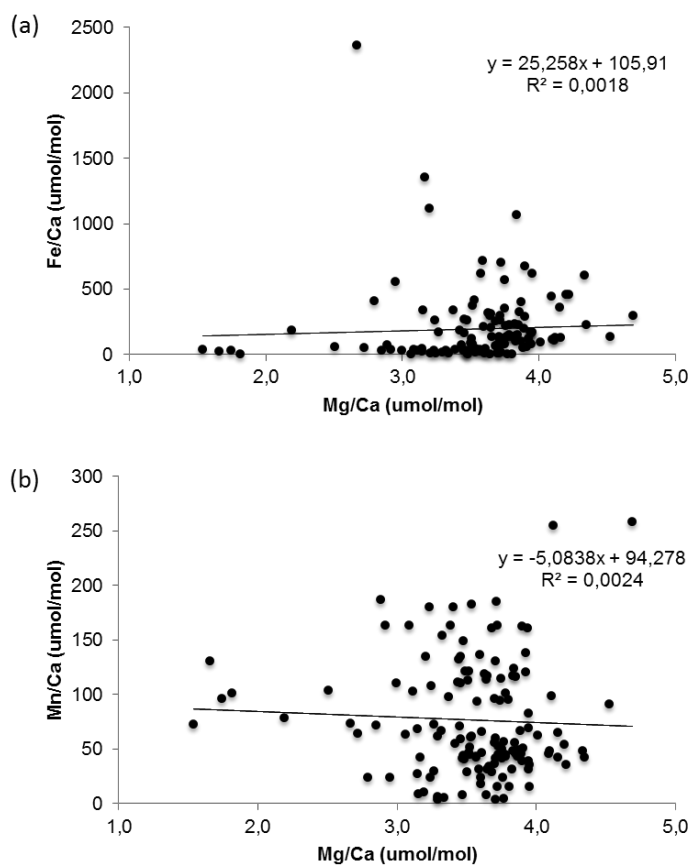


Figura 7 Representação gráfica das razões elementares Mg/Ca *versus* Fe/Ca (a) e Mn/Ca (b) para testar a eficiência dos procedimentos de limpeza, demonstrando que não há correlação significativa entre estas razões.

Anexo 3 Razões elementares obtidas em testas de *G. ruber* (pink), na fração 250-300µm, do testemunho NAP 62-2 e estimativas de temperatura da superfície do mar (TSM - °C) com base na razão Mg/Ca, calculadas através da equação de Anand *et al.* (2003) com os coeficientes de calibração ($b=0.38$, $\alpha = 0.009$).

Profundidade no testemunho (cm)	Idade (ka cal AP)	Mg/Ca (mmol/mol)	Mn/Ca (µmol/mol)	Fe/Ca (µmol/mol)	TSM (°C)
0	0.00	3.63	118.98	313.64	25.1
1	0.06	3.51	112.58	123.50	24.7
2	0.13	3.68	160.82	253.23	25.2
4	0.26	3.72	163.58	299.39	25.3
5	0.32	3.59	159.88	265.31	24.9
6	0.39	3.60	136.39	213.23	25.0
8	0.52	3.46	110.68	160.54	24.5
9	0.58	3.64	113.55	296.01	25.1
10	0.65	3.71	130.49	135.79	25.3
11	0.71	3.92	137.74	117.80	25.9
12	0.78	3.65	116.97	307.16	25.1
13	0.84	3.59	96.35	236.63	24.9
15	0.97	3.78	101.18	222.96	25.5
16	1.04	3.85	116.16	223.36	25.7
17	1.10	3.75	114.58	79.68	25.4
18	1.17	3.49	121.03	30.43	24.6
19	1.23	3.44	111.42	69.32	24.5
20	1.30	3.52	121.45	78.35	24.7
21	1.36	3.74	94.13	122.77	25.4

Anexo 4 Razões elementares obtidas em testas de *G. ruber* (pink), na fração 250-300µm, do testemunho NAP 63-2 e estimativas de temperatura da superfície do mar (TSM - °C) com base na razão Mg/Ca, calculadas através da equação de Anand *et al.* (2003) com os coeficientes de calibração ($b=0.38$, $\alpha = 0.009$).

Profundidade no testemunho (cm)	Idade (ka cal AP)	Mg/Ca (mmol/mol)	Mn/Ca (µmol/mol)	Fe/Ca (µmol/mol)	TSM (°C)
1	0.18	3.71	3.38	6.03	25.3
2	0.35	3.77	4.72	0.74	25.5
3	0.53	3.65	7.45	3.59	25.1
4	0.71	3.47	7.84	17.48	24.6
5	0.88	3.77	15.39	11.35	25.5
6	1.06	3.60	23.91	11.64	25.0
7	1.24	3.70	36.74	8.84	25.3
8	1.41	3.71	41.03	42.16	25.3
9	1.59	3.57	42.98	38.86	24.9
10	1.77	3.57	42.42	19.89	24.9
11	1.94	3.47	41.03	7.65	24.6
12	2.12	3.61	46.59	14.89	25.0
13	2.3	3.42	54.69	186.62	24.4
16	2.83	3.53	61.04	43.04	24.8
17	3.01	3.58	57.35	36.48	24.9
18	3.18	3.65	30.96	206.02	25.1
19	3.36	3.30	69.34	33.94	24.0
20	3.54	3.77	56.68	135.25	25.5
22	3.89	3.32	66.67	27.82	24.1
23	4.07	3.61	65.94	42.03	25.0
25	4.42	3.89	66.67	49.08	25.8
26	4.6	3.87	48.59	97.21	25.8

Anexo 5 Razões elementares obtidas em testas de *G. ruber* (pink), na fração 250-300µm, do testemunho NAP 64-2 e estimativas de temperatura da superfície do mar (TSM - °C) com base na razão Mg/Ca, calculadas através da equação de Anand *et al.* (2003) com os coeficientes de calibração ($b=0.38$, $\alpha = 0.009$).

Profundidade no testemunho (cm)	Idade (ka cal AP)	Mg/Ca (mmol/mol)	Mn/Ca (µmol/mol)	Fe/Ca (µmol/mol)	TSM (°C)
0	0.00	3.95	31.40	161.93	26.0
3	0.90	3.87	43.37	404.12	25.8
4	1.20	3.95	38.77	162.21	26.0
6	1.79	3.75	49.72	352.17	25.4
7	2.09	4.09	45.69	446.17	26.4
8	2.39	3.52	46.50	372.38	24.7
9	2.69	4.22	35.34	454.49	26.7
10	2.99	3.95	35.42	168.76	26.0
11	3.29	3.90	162.89	671.50	25.9
12	3.59	4.03	34.81	428.66	26.2
13	3.89	3.90	38.61	288.10	25.9
15	4.48	3.59	31.12	714.27	24.9
16	4.78	3.86	45.79	321.83	25.7
17	5.08	4.20	54.18	454.90	26.7

Anexo 6 Razões elementares obtidas em testas de *G. ruber* (pink), na fração 250-300µm, do testemunho NAP 66-2 e estimativas de temperatura da superfície do mar (TSM - °C) com base na razão Mg/Ca, calculadas através da equação de Anand *et al.* (2003) com os coeficientes de calibração ($b=0.38$, $\alpha = 0.009$).

Profundidade no testemunho (cm)	Idade (ka cal AP)	Mg/Ca (mmol/mol)	Mn/Ca (µmol/mol)	Fe/Ca (µmol/mol)	TSM (°C)
0	0.00	3.98	62.35	133.10	26.1
1	0.24	3.83	117.50	103.05	25.7
2	0.47	3.93	120.52	113.37	25.9
3	0.71	3.94	160.86	168.34	26.0
7	1.65	4.11	98.24	105.78	26.5
9	2.12	3.70	95.88	82.26	25.3
11	2.59	4.10	47.72	116.46	26.4
12	2.82	4.53	91.18	133.93	27.5
13	3.06	3.95	68.79	80.37	26.0
14	3.29	4.16	64.97	130.58	26.6
15	3.53	3.73	44.88	111.87	25.4
16	3.76	3.83	47.84	144.90	25.7
17	4.00	3.89	45.72	201.13	25.9
18	4.23	3.81	55.50	142.09	25.6
19	4.47	4.35	42.60	229.54	27.1
20	4.70	3.78	44.61	148.15	25.5
21	4.94	3.83	31.40	234.21	25.7

Anexo 7 Razões elementares obtidas em testas de *G. ruber* (pink), na fração 250-300µm, do testemunho NAP 68-2 e estimativas de temperatura da superfície do mar (TSM - °C) com base na razão Mg/Ca, calculadas através da equação de Anand *et al.* (2003) com os coeficientes de calibração ($b=0.38$, $\alpha = 0.009$).

Profundidade no testemunho (cm)	Idade (ka cal AP)	Mg/Ca (mmol/mol)	Mn/Ca (µmol/mol)	Fe/Ca (µmol/mol)	TSM (°C)
3	0.24	3.29	3.71	-3.28	24.0
4	0.32	3.29	6.38	16.15	24.0
5	0.40	3.34	5.35	5.88	24.2
8	0.63	3.60	17.64	-0.20	25.0
9	0.71	3.15	27.49	25.96	23.5
10	0.79	3.48	40.70	4.32	24.6
11	0.87	3.52	51.16	-2.58	24.7
15	1.19	2.85	71.48	33.15	22.4
16	1.27	3.06	63.12	5.36	23.2
18	1.43	3.27	72.81	-3.17	23.9
22	1.74	3.11	103.07	28.39	23.4
23	1.82	3.00	110.30	27.28	22.9
24	1.90	3.25	107.87	10.23	23.8
25	1.98	3.54	182.29	18.68	24.8
26	2.06	3.20	134.82	8.13	23.7
27	2.14	3.69	28.65	64.72	25.2
28	2.22	3.38	29.16	130.03	24.3
30	2.38	3.40	179.84	-2.03	24.4
31	2.46	3.40	151.75	11.43	24.4
35	2.78	3.45	132.25	28.52	24.5
36	2.85	3.24	163.47	36.36	23.8

